

文章编号:1000-582X(2004)06-0093-03

某雷达自动电调平控制系统的设计*

李迪科¹,李萍¹,蒙建波¹,刘进江^{2,3},王大文³,刘江³

(1.重庆大学自动化仪表研究所,重庆 400030;2.重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室,重庆 400030;3.重庆航天新世纪卫星应用技术有限责任公司,重庆 400010)

摘要:雷达进入正常工作前,其天线需要进行水平基准的调整。笔者就这个问题介绍一种基于单片机的多cpu并行工作的自动电调平控制系统的实现,对比了液压调平方式和应用电机的电调平方式的优劣,也指出了三点式调平和四点式调平控制方式在稳固性和抗倾覆能力的区别以及采用这两种方式对精度带来的影响,介绍了系统的软硬件构成。

关键词:平台;水平调整;单片机

中图分类号:TP273.5

文献标识码:A

某雷达系统在工作之前要对雷达车的架设进行精度较高的水平调整(以下简称“调平”),并且要求调整的速度要快,且自动化调整。过去,天线座车采用手工调平,通过观察水泡,由多人反复操作调节支撑螺杆达到水平。这种方法调节时间长,精度低,难操作^[1]。近年来,车载雷达座车的调平采用了自动液压调平系统,大大缩短了调平的时间,提高了调平的精度。总体而言,目前的调平系统大多采用液压调平,方式多为3点或者4点调平,实现的调平精度大多达到 $6'(0.1^\circ)$ ^[2]。但是液压调平系统也存在不足:调平时间还不够短,响应不灵敏,存在漏油的问题,维修困难。采用自动电动调平比起手动、液压传动调平有着以下优点:调平时间短,调平精度高,可靠性好,便于维护等等^[3]。笔者就某雷达调平系统提出了一种基于单片机的4点自动电调平系统,此系统也可以用于其它武备系统和一些民用系统的调平。

1 系统组成

1.1 控制原理

一般的调平方式是3点式(图1)或者4点式(图2)调平,也有采用更多,比如6腿以上的调平方式的^[2]。结合系统的应用实际本情况,综合考虑到车体抗倾覆性和稳定性、调平精度、系统成本等因素,本系统采用了4点调平方式。

图1-2中,倾角传感器的敏感方向是沿着支撑点的连线方向^[1]。理论上3个点可以确定一个平面,用3点调平方式可以减少成本,但是3点调平的稳定性和抗倾覆能力较差。

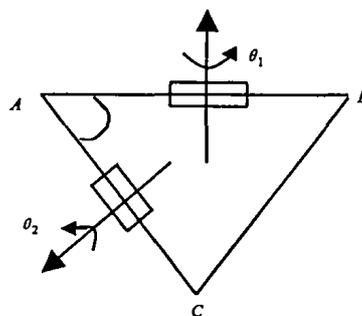


图1 3点调平方式

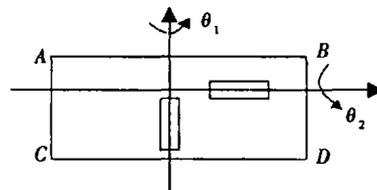


图2 4点调平方式

在倾角传感器的精度一定、平台加工精度一定的情况下,平台水平误差的大小与倾角传感器的位置有一定的关系,3点调平的水平误差可以根据倾角传感器感受到的角度 θ_1 、 θ_2 合成为:

* 收稿日期:2004-01-07

作者简介:李迪科(1978-),男,广西崇左人,重庆大学硕士研究生,研究方向:控制理论与控制工程,嵌入式控制系统。

$$\theta = \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2 + 2\theta_1\theta_2\cos\alpha}/\sin\alpha \quad (1)$$

如果 θ_1 、 θ_2 的控制精度都为 $\pm\delta$, 则 3 点调平平台的水平误差为:

$$\theta = \sqrt{2 + 2\cos\alpha}\delta/\sin\alpha \quad (2)$$

而 4 点调平方式下, $\alpha = 90^\circ$, 平台的水平误差为:

$$\theta = \sqrt{2}\delta \quad (3)$$

可以看出, 4 点调平的方式比起 3 点调平, 除了稳定性和抗倾覆能力有提高外, 精度也比较高。至于多于 4 点的调平, 虽然能进一步提高稳定性和抗倾覆能力, 但是带来了成本的较大的增加, 并且由于控制算法的复杂, 也带来了更高的软件成本和维护成本, 因此未加采用。

4 点和多点调平面临的主要问题是虚腿现象, 即有一个腿不受力或者悬空, 这是不能允许的。当平台的负载均匀时, 4 个支撑点的受力应该均匀。本系统的处理办法是把平台支撑起来后, 先进行一次粗调平, 目的是使 4 个支撑点的受力比较接近, 然后以 A 点为准, 把其它 3 点调整到经过 A 点的水平面上。由于 4 个点的分布构成一个矩形, 实际过程是先以 AC 为轴线, 让 B、D 两点按相反方向运动同样的距离, 把 θ_1 调节到要求的范围以内, 然后以 AD 为轴线, 让 B、C 按相同方向运动同样的距离, 把 θ_2 调节到要求的范围以内, 随后系统进入循环检测, 发现 θ_1 或者 θ_2 超出范围时就作相应调节。这样, 调节的过程就中不会出现一腿受力过小(虚腿)。从前期的粗调平和随后的自动调平效果来看, 系统工作良好, 从粗调平结束到进入相对稳定工作状态 4 个支撑点的受力一直比较均匀, 有效预防了虚腿现象的出现。

1.2 系统硬件构成^[4-5]

系统硬件方框图如图 3 所示。

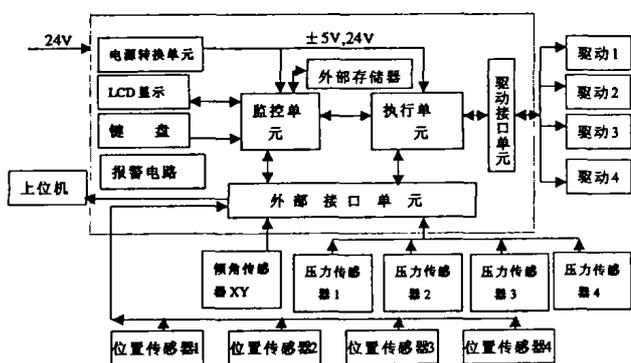


图 3 系统框图

倾角传感器:采用了高精度电子倾角传感器,它是数字传感器,能敏感两个垂直方向的角度,其分辨率达到 0.009° , 配备有 RS232 接口, 反应时间和分辨率可调。可工作于自动模式和查询模式。

压力传感器:用于测量 4 个支撑脚承受的压力, 测

量范围 $0 \sim 9\,000$ kg, 配备 RS232 接口。只能工作于查询方式。

位置传感器:用于保护电机, 防止丝杆超出行程, 支架回收的时候用于检测回收到位。

外部接口单元:采用一片 2051 单片机进行数据处理, 负责把倾角传感器和压力传感器的数据进行转换和平滑滤波后送给监控单元和执行单元。

监控单元:采用 ATMEL 公司的 AT89C55 单片机, 负责接收操作人员的键盘输入并送给执行 CPU; 检查各传感器和接收 2051 送来的倾角、压力数据并把结果显示在液晶屏幕上; 工作中如果出现压力不均匀(虚腿)时, 点亮发光二极管报警。

执行单元:接收监控单元送来的指令并执行, 在粗调平和自动调平的时候接收 2051 送来的压力、角度数据, 选择合适的调整方式(包括参与运动的电机、运动的方向、运动的距离等)。

外部存储器:掉电保护存储器, 用来存储监控程序所用到的字符串、存储系统的一些设置, 比如倾角传感器的补偿量, 抬升座车时的行程等等。

报警电路:压力过大、电机故障时、丝杆行程到达上限、回收支架丝杆到位时, 相应的发光二极管会被点亮提示操作人员。

上位机:安装了倾角传感器附送的软件, 可以用来监视平台的水平程度。不配备上位机时, 系统液晶板上也可以显示角度信息。

2 系统软件设计^[6]

为了加快调平的速度, 系统配备了 3 个单片机并行处理不同的任务。

2.1 外部接口单元中的数据处理单片机:

一片 Atmel 公司的 2051 单片机, 负责与 4 个压力传感器依次通讯, 查询和接收传感器的回送数据, 并从收到的数据帧里提取压力段, 然后把它从 ASC 码转换为 16 进制数。它还接收倾角传感器的数据, 为了消除抖动把倾角数据进行了简单的取平均值平滑。数据处理单片机给监控单元和执行单元送数据的时候数据帧有不同的方式, 一个是压力和角度数据一起送, 另一种是只送角度数据, 后者运用于当执行单片机工作于自动调平方式时, 目的是加快调平的响应速度。

这片 2051 还负责在开机的时候依次检查各个传感器, 如果超出一定时间没有回应就认为传感器出错。检查完毕后把结果(一个 8 位二进制数)通过串口送给监控单元, 等待监控单元的回。监控单元根据这个 8 位二进制数判断传感器有无故障并提示用户, 等

待用户下指令,然后把 2051 的一个引脚电平置低。2051 随后进入自动接收、转换、处理、发送传感器数据的循环工作流程,之前判断出有故障的传感器被跳过去不采其数据。

所有的传感器数据都通过串口接收和发送,解决冲突的办法是运用一片 cpld 进行通道切换。

2.2 监控单片机

监控单片机向用户提供了参与调节的接口,并让用户了解系统的工作状况,包括各传感器正常与否,各个支撑点上承受的重量,倾角传感器测量到的角度信息等。

它向用户提供的操作有:

1) 抬升车体 执行后座车的轮胎离开地面,随后系统进行粗调平。这个命令只能执行一次,之后这个菜单被锁死。

2) 自动调平 执行后系统进入自动调平。

3) 手动调节 里面有多个子菜单,许可用户对单个、2 个、4 个电机进行正反转操作,当出现比较恶劣的情况,如倾角传感器失效时可以用手动调平的办法应急。

4) 点动调节 里面有 8 个子菜单分别微动 4 个电机,与手动不同的是点动命令是按一次键松手后执行一次,而且电机运动量比较小,用来进行微调。

5) 参数设置 里面有 4 个子菜单分别是设置抬升平台的行程、点动调节时的步距、手动调节时的电机速度、倾角传感器在两个方向上的补偿量。用户设置好后系统把参数写入外部存储器,下次开机的时候监控单片机把它读出来并送给执行单元。

6) 切换控制 由于倾角传感器的附送软件是查询方式,当用户需要在计算机上观看角度数据就得把对倾角传感器的控制权交给计算机。用户选择这个命令后系统进行切换(切换后不影响系统进行自动调平),再执行一次后切换回系统控制倾角传感器。

7) 回收支架 当工作结束时,选择该命令系统就自动把 4 个支撑腿回收,回收到位后就可以断电撤离。

2.3 执行单片机

一片 Atmel 的 89c52 单片机,负责接收监控单片机的指令并执行,执行完毕后返回并读取新命令。

开机时,89c52 先把倾角传感器的工作模式设置为自动发送,然后检查 4 个电机的状态。假设发现某电机有故障,89c52 把机箱面板上的警报灯点亮,并中断监控单片机,让其提示用户进行相应处理。等用户处理完各种状况(包括传感器故障)后,89c52 进入待命状态。

对于监控单元送来的指令,89c52 都执行并回送

执行结果,然后再次待命。开机后首先进行抬升车体的命令,随后 89c52 根据接收到的压力数据进行粗调平,把 4 个支撑脚上的压力进行比较,最大差值超过某水平的时候就把压力最小的支撑腿下伸 0.5 mm,多次判断后使 4 个脚上的压力分布均匀。自动调平时 89c52 接收 2051 送来的角度数据,根据角度的大小、正负来选择合进行 x 方向调节还是 y 方向调节,参与调节的电机,计算调节的行程大小和需要相应输出的脉冲数目然后执行调节,多次调节后车体就可以进入水平状态。这时 89c52 不会退出自动调平,而是实时接收 x, y 方向的角度信息,判断和维持这个水平状态。当出现电机故障或者用户选择退出自动调平的时候 89c52 才返回待命状态。

3 调试结果

目前此系统已经安装调试并验收通过,其调平进入稳定状态后 x, y 两个方向的角度稳定在 $-0.04^\circ \sim 0.04^\circ$ 之间,在初始水平偏差为 5° 条件下,调平时间少于 2 min,优于一般调平系统达到的 $6'(\pm 0.1^\circ)$,调平时间 5 min 的指标,更是超过了客户提出的调平精度为 0.17° ,时间为 5 min 的要求。取得了满意的效果。

4 结束语

本系统采用 4 点调平方式,使用多片单片机并行工作,使用电机作为执行机构,比起通用的 3 点调平系统具有快速、准确、稳定、易于操作、便于维护等特点。该系统的完成对国防建设具有重大意义,同时该产品的开发对其它产品也起到了促进作用。

参考文献:

- [1] 倪江生,翟羽健. 雷达天线座车调平问题的研究[J]. 测控技术,1994,12(4):36-39.
- [2] 盛英,仇原鹰. 六点支撑液压式平台自动调平系统[J]. 液压与气动,1999,(4):24-26.
- [3] 李忠于. 某雷达自动调平机构的设计分析[J]. 火控雷达技术,2002,31(3):43-47.
- [4] 申屠南瑛,高潮,郭永彩. 基于微机测控技术的智能伺服操作系统[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2003,26(9):73-76.
- [5] 杨兴瑶,刘行景. 高精度电子倾角传感器及其在自动调平仪中的作用[J]. 江苏机械制造与自动化,1994,(6):34-35.
- [6] 马忠梅,籍顺心. 单片机的 c 语言应用程序设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1999.

[5] 张学盛,陈万吉.约束多体系统动力学正则方程的约束边尺度法[J].计算力学学报,1999,16(3):314-319.

[6] ARNOLD V I. Mathematical methods of classical mechanics [M]. (2nd ed). New-York: Spring-Verlag, 1989.

Symplectic Methods of the Dynamic Equations of Constrained Multibody Systems

WU Yong^{1,2}, DU Si-yi^{2,3}, HU Ji-yun⁴, LIU Bao-guo, YIN Xue-gang²

(1. Mathematics Department of Engineering College of Chongqing, Chongqing 400050;

2. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

3. Colleg of Civil Engineerng, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China;

4. Department of Mechanics, College of Engineering, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: The differential-algebraic equation of the dynamic equations of constrained multibody system is a system of index three. It is a very difficult problem for solving. At present, there are no satisfactory numerical methods yet, we construct the symplectic composition Runger-Kutta methods for the differential-algebraic equations, and use mainly it for simulation in the canonical form of the equations. The results are better than Baumgarte's methods.

Key words: multibody systems; symplectic methods; canonical equation

(编辑 吕赛英)

~~~~~  
(上接第95页)

## Electric Horizontal Adjust Servomechanism for Radar Antenna Truck

*LI Di-ke<sup>1</sup>, LI Ping<sup>1</sup>, MENG Jian-bo<sup>1</sup>*

*LIU Jin-jiang<sup>2,3</sup>, WANG Da-en<sup>3</sup>, LIU Jiang<sup>3</sup>*

(1. Institute of Process Automation Instrumentation, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Key Laboratory of Optoelectronic Technology and System Under the State Ministry of Education,  
Chongqing University, Chongqing 400030, China;

3. Chongqing Aerospace New Century Satellite Application Technology Co. Ltd., Chongqing 400010, China)

**Abstract:** Before working, the radar's antenna needs to be adjusted into horizontal. A multiprocessor electric horizontal adjust servomechanism is introduced to solve the problem. The authors compares this electric servomechanism to hydraulic servomechanism and point out its advantages and disadvantages to the latter. Difference between three-points adjust mode and four-points adjust mode on stability are given, along with cost and precise. The hardware and software of the system are introduced.

**Key words:** platform; horizontal adjustment; single chip microprocessor

(编辑 吕赛英)